

вузлів зародження та погашення пасажиропотоків для побудови найбільш адекватних математичних моделей ефективного функціонування транспортних систем пасажирського приміського сполучення.

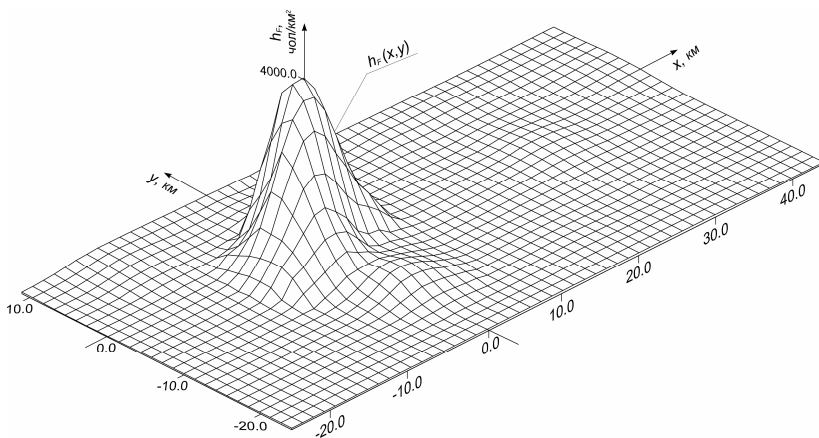


Рис.4 – Графічне зображення функції щільності населення для регіону Рівненської області

- 1.Ефремов И.С., Кобозев В.М., Юдин В.А. Теория городских пассажирских перевозок. – М: Высшая школа, 1980. – 534 с.
- 2.Применение математических методов в градостроительстве: В помощь проектировщику-градостроителю // Научно-технический тематический сборник. – К., 1972.
- 3.Мерлен П. Город. Количественные методы изучения: Пер. с франц. – М., 1977.
- 4.Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 478 с.
- 5.Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
- 6.Грицюк П.М., Чижевич К.А. Дослідження динаміки рівня ґрунтових вод на території Рівненської області // Вісник НУВГП. Вип.3 (31). – Рівне, 2005. – С.94-101.

*Отримано 06.02.2006*

УДК 65.001.1 : 519 (075.8)

**Е.П.БАБЕНКО**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

## **ВЫБОР СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

Рассматриваются цель и постановка задачи. Описывается метод анализа иерархии для выбора стратегий развития автомобильных дорог. Приведен пример.

Как известно, дорожные проблемы лучше предусматривать и пре-

дупреждать заранее, чем затрачивать куда более значительные усилия и средства по ликвидации неблагоприятных последствий.

В практике автодорожного проектирования принято рассматривать несколько вариантов пространственного расположения автомобильных дорог на местности. Определение наиболее удовлетворяющего нужным требованиям варианта является сложной задачей, поскольку каждый имеет как положительные, так и отрицательные качества.

Рациональный вариант выбирается по совокупности технико-эксплуатационных, экологических, эргономических и экономических характеристик.

Решение этой проблемы выполняется в рамках госбюджетной тематики на кафедре автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Харьковского национального автомобильно-дорожного университета.

Для того, чтобы более детально и подробно взвесить множество факторов, существуют разные методы экспертного оценивания. Метод анализа иерархий (МАИ) является одним из удобных в использовании и предлагается для обоснования стратегий развития автодорог [1].

Метод анализа иерархий называется системной процедурой для иерархического представления элементов, которые определяют содержание проблемы. В основе метода лежат декомпозиция проблемы на более простые составные части и дальнейшая обработка суждений на каждом иерархическом уровне по парным сравнениям. В результате может быть выражена относительная степень взаимодействия элементов на данном иерархическом уровне или „важность” одних элементов по отношению к другим. Этим рассуждениям ставится численная оценка [2].

При измерениях разных не физических характеристик часто используют балльные шкалы, которые представляют собою подмножества натуральных чисел. В методе МАИ, предлагается использовать 9-балльную шкалу относительной важности, которая представляет числовое подмножество, в границах которого выбирается значения  $\alpha_{ij}$ . При равной важности факторов интенсивности относительная важность равняется 1, если очевидность преимущества одного фактора над другим подтверждается наиболее сильно, вес равняется 9, другие значения являются промежуточными.

Процесс может быть проведен над последовательностью иерархий: в этом случае результаты, полученные в одной из них, используются как входные данные при исследовании следующих.

Первым этапом применения МАИ является структуризация проб-

лем в виде иерархии или сети. В элементарном виде иерархия строится из вершины (цели), через промежуточные уровни (критерии) к наиболее низкому уровню, который является перечнем альтернатив (в данном случае вариантов развития дорог).

В условиях неопределенности информации для выбора стратегий развития автомобильных дорог целесообразно использовать МАИ.

Предположим, есть  $n$  вариантов (стратегии) развития дорог. Эти варианты имеют разные характеристики. Предположим, что известно некоторые положительные числа  $w_i$ , которые будут характеризовать степень наличия данного свойства (характеристики) у альтернативного варианта развития дорог. Чем больше число  $w_i$ , тем больше мера этого свойства выражена у данного варианта развития дороги. Соответственно терминологии, введенной в МАИ, эти числа называются весами, интенсивностями или коэффициентами важности объектов (в данном случае стратегий развития дороги). Суммарный вес этих коэффициентов нормализуется и должен равняться единице:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1. \quad (1)$$

Нужно выбрать эффективную стратегию развития автодорог.

Рассмотрим МАИ более детально. Для коэффициентов важности стратегий развития строится матрица относительных весов:

$$\bar{A} = (\alpha_{ij}) = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{nn} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Данная матрица имеет следующие свойства:

1.  $\alpha_{ij} = w_i / w_j > 0$  для всех  $i$  и  $j$ , поскольку все веса  $w_i$  и  $w_j$  положительные.
2.  $\alpha_{ii} = w_i / w_i = 1$  для всех  $i = 1, 2, \dots, n$ .
3. Матрица  $\bar{A}$  обратно симметричная в том значении, что

$$\alpha_{ij} = \frac{w_i}{w_j} = \frac{1}{w_j / w_i} = \frac{1}{\alpha_{ji}} \quad \text{для всех } i \text{ и } j.$$

4. Матрица  $A$  имеет свойство совместимости, т.е.

$$\alpha_{ij} \cdot \alpha_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \cdot \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = \alpha_{ik} \quad \text{для всех } i, j \text{ и } k.$$

Из весов  $w_1, w_2, \dots, w_n$  образуем вектор-столбец  $w$ :

$$\overline{w} = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Можно доказать, что имеет место векторное равенство:

$$\overline{Aw} = n\overline{w}. \quad (4)$$

Выполнение этого равенства означает, что число  $n$  является собственным значением матрицы относительных весов  $\overline{A}$ , а  $\overline{w}$  – соответствующее этому собственному значению собственный вектор.

$\overline{A} = (w_i / w_j)_{n \times n}$  имеет лишь два действительные собственные значения:  $n$  и  $0$ , из чего получается

$$\lambda_{\max} = n = \max\{n; 0\}; \quad (5)$$

$$\overline{Aw} = \lambda_{\max} \overline{w}. \quad (6)$$

Это равенство лежит в основе метода Саати.

Значения  $w_i$  сначала неизвестные и их необходимо определить. В МАИ вес определяется при помощи выставления экспертных оценок элементов путем их парного сравнения. С этой целью строится матрица парных сравнений:

$$\overline{A} = (\alpha_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{nn} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Произвольный элемент  $\alpha_{ij}$  этой матрицы является числом, кото-

рое показывает, во сколько раз вес объекту  $A_i$  больше веса объекту  $A_j$ . При этом считается, что матрица парных сравнений  $\bar{A}$  имеет все свойства, приведенные для матрицы (2), кроме четвертой.

Реализация метода Саати состоит из определения максимального собственного значения  $\lambda_{\max}$  матрицы парных сравнений  $\bar{A}$  и в вычислении собственного вектора  $\bar{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ . Если число  $\lambda_{\max}$  найдено, то вектор  $\bar{w}$  можно найти, решив систему линейных уравнений, получаемых из равенства

$$(\bar{A} - \lambda_{\max} \cdot \bar{E}) \cdot \bar{w} = 0, \quad (8)$$

где  $\bar{E}$  – единичная матрица. Если найденный вектор  $\bar{w}$ , не отвечает условию нормирования (1), то нужно разделить каждую его компоненту на сумму всех его компонент. В результате выйдет вектор, который удовлетворяет условию нормирования и равенства (8), он и будет решением задачи.

Компоненты этого вектора являются весовыми оценками для категорий, сравниваемых в матрице попарных сравнений, т.е. указывают на приоритеты. В связи с этим вектор  $\bar{w}$  называют также вектором приоритетов.

В МАИ можно использовать многоуровневые иерархии и результаты, полученные в одной из них, использовать как входные данные при изучении следующих.

Предположим, есть иерархия с несколькими уровнями. Тогда для того, чтобы ввести в расчет один из промежуточных уровней нужно выполнить следующие операции. Составить матрицу попарных сравнений для критериев верхнего уровня и вычислить вектор приоритетов  $\bar{P} = [P_1, P_2, \dots, P_i]^T$ . Составить матрицу попарных сравнений по каждому критерию для низшего уровня и вычислить соответствующие им вектора приоритетов, и из этих векторов составить матрицу. Умножить эту матрицу на вектор приоритетов  $\bar{P}$ . В результате будет получен новый вектор приоритетов, который учитывает преимущества для низшего уровня. Этот вектор следует нормализовать.

Если существует более высокий уровень иерархии, то такой вектор будет давать для него необходимые входные данные, причем дальнейшие шаги выполняются аналогичным образом.

В данном исследовании задача выбора варианта развития дороги структурируется таким образом:

1. Цель – выбор и обоснование эффективной стратегии развития автодорог.

2. Критерии выбора.

2.1 Техничко-эксплуатационные (прочность дорожной конструкции, ровность покрытия, оползни, обочины).

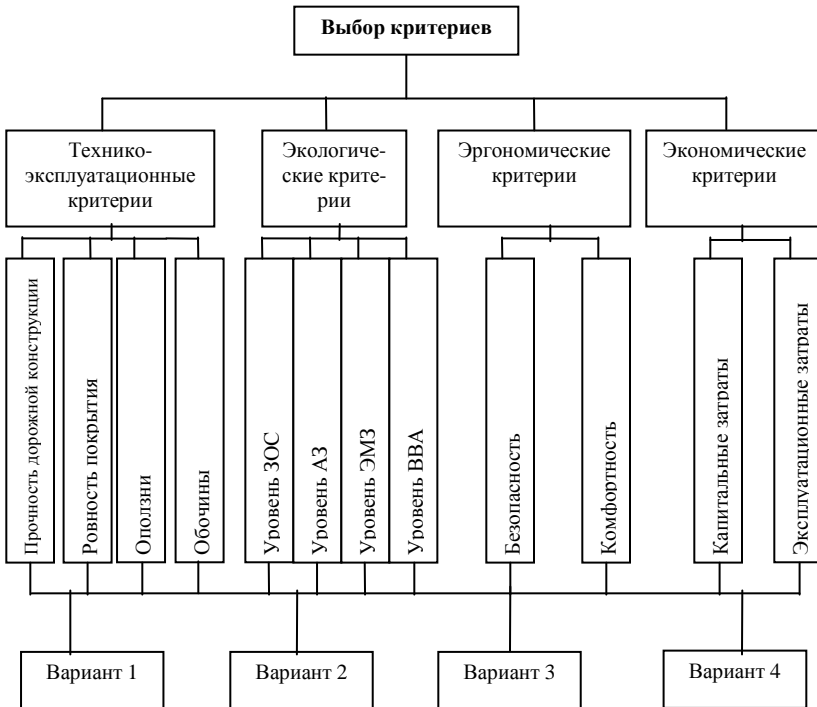
2.2 Экологические (уровень загрязнения окружающей среды (ЗОС), уровень акустического загрязнения (АЗ), уровень электромагнитного загрязнения (ЭМЗ), уровень вредных выбросов в атмосферу (ВВА)).

2.3 Эргономические (безопасность, комфортность).

2.4 Экономические (капитальные и эксплуатационные затраты).

3. Альтернативы. (Оцениваемые варианты развития дорог).

Графически эта иерархия представлена на рисунке.



Иерархическая структура решения задачи

В качестве примера была рассмотрена стратегия развития дороги Симферополь - Ялта - Севастополь. В таблице приведены возможные стратегии развития этой дороги, а также результаты оценки и выбора эффективности стратегии указаны жирным шрифтом с учетом ограничения по финансовым ресурсам.

Результаты оценки и выбора стратегий развития автодорог

Стратегия развития	Значения обобщенной оценки	Стоимость, тыс. грн.
<b>Восстановление деформированного оползнем дорожного покрытия и земляного полотна на км 81-102</b>	<b>0,7</b>	<b>1805</b>
<b>Восстановление моста на км 27</b>	<b>0,6</b>	<b>1710</b>
<b>Инженерная защита участка на км 61 от оползневых деформаций</b>	<b>0,6</b>	<b>2700</b>
<b>Восстановление разрушенной оползневой деформациями водопропускной трубы д – 1,0 м на км 92</b>	<b>0,6</b>	<b>880</b>
Устройство подпорной стенки на км 27	0,5	720
Инженерная защита участка на км 33 от оползневых деформаций	0,5	18400
Устройство водопропускных сооружений на км 60 разрушенных оползнем	0,5	1150
Строительство моста на км 54	0,4	18100
Инженерная защита участка на км 31 от оползневых деформаций	0,07	12000
Инженерная защита участка на км 42	0,07	4900

Таким образом, в статье получил дальнейшее развитие МАИ за счет распространения его на новый класс объектов – выбор стратегии развития автомобильных дорог.

1.Саати Т., Кернс К., Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

2.Насыров Р.В., Система анализа и выбора вариантов решений на основе метода анализа иерархий. – Уфа, 2001. – 152 с.

*Получено 16.01.2006*

УДК 625.7 : 662.2

**В.А.ПЕНЬКОВ**, канд. техн. наук

*Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета*

## **ОСОБЕННОСТИ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Приводятся результаты исследований влияния подземных горных работ на параметры и транспортно-эксплуатационные показатели городских улиц и дорог, отражены особенности функционирования объектов городского хозяйства в условиях подработки.